

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ
ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ
ΚΑΥΣΗΣ

Π. ΚΟΥΤΜΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το μάθημα "Καύση και Ρύποι" προσφέρεται στο τμήμα Μηχ/γών & Αερο/γών Μηχανικών σαν μάθημα εξειδίκευσης του Τομέα Ενέργειας για να βοηθήσει τους φοιτητές του τμήματος να αποκτήσουν τις θεμελιώδεις γνώσεις στη θεωρία καύσης που είναι απαραίτητη για την επίλυση διαφόρων τεχνικών προβλημάτων στην επαγγελματική και ερευνητική τους δραστηριότητα.

Ο σημερινός Μηχανολόγος Μηχανικός που μελετά ενεργειακά συστήματα, και κατά συνέπεια συστήματα καύσης, αντιμετωπίζει σύνθετα φαινόμενα που εξαρτώνται από αλληλοσχετιζόμενες διεργασίες μηχανικής ρευστών, μεταφοράς μάζας και θερμότητας, χημικής κινητικής, θερμοδυναμικής και τύρβης. Η χρησιμότητα της επιστήμης της καύσης για την επίλυση τεχνικών προβλημάτων καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών όπως παραγωγή θερμικής και προωστικής ισχύος, πρόληψη πυρκαγιών-πυρασφάλεια, αποτέφρωση τοξικών αποβλήτων, εναλλακτικά καύσιμα και έλεγχο ρυπογόνων εκπομπών. Ως εκ τούτου είναι εμφανές ότι ο σωστός σχεδιασμός ενός συστήματος καύσης είναι ένα από τα πλέον κρίσιμα τμήματα της συνολικής σχεδιαστικής διαδικασίας για ένα ενεργειακό σύστημα. Στην παρούσα μορφή του, αλλά και μέσω της συνεχούς εξέλιξης και συμπλήρωσης του, σύμφωνα με τις τεχνολογικές προόδους το παρόν σύγγραμμα σημειώσεων μπορεί να αποτελέσει κατάλληλη αναφορά και για μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών.

Τέλος κάθε υπόδειξη και κριτική θα είναι ευπρόσδεκτη για την περαιτέρω βελτίωση του παρόντος συγγράμματος.

Ο συγγραφέας

Σεπτέμβριος 2007

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. K.K. Kuo, "Principles of combustion", Wiley, 1986
2. S. Turns, "Introduction to combustion", McGraw-Hill, 1996
3. F.A. Williams, "Combustion Theory", Addison-Wesley, Publishing Company, Reading, Mass., 1965
4. A. Murty Kanury, "Introduction to Combustion Phenomena", Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1975
5. R.A. Strehlow, "Fundamentals of Combustion", Int. Textbook Company, 1968
6. I. Glassman, "Combustion", Academic Press, New York, 1977
7. D.B. Spalding, "Combustion and Mass Transfer", Pergamon, New York, 1965
8. B. Lewis and G. von Elbe, "Combustion, Flames and Explosions of Gases", 2nd ed., Academic Press, New York, 1961
9. R.B. Bird, W.E. Stewart and E.N. Lightfoot, "Transport Phenomena", John Wiley & Sons, New York, 1960
10. J.O. Hinze, "Turbulence", McGraw-Hill Book Company, New York, 1975
11. K.J. Laidler, "Chemical Kinetics", 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1975
12. S.W. Benson, "The Foundations of Chemical Kinetics", McGraw-Hill Book Company, New York, 1960
13. W. Jost, "Explosion and Combustion Processes in Gases", McGraw-Hill, New York, 1946
14. R.M. Fristrom and A.A. Westenberg, "Flame Structure", McGraw-Hill, New York, 1964
15. A.G. Gaydon and H.G. Wolfhard, "Flames: their Structure, Radiation and Temperature", 2nd ed., Chapman and Hall, London, 1960
16. J.W. Rose and J.R. Cooper, "Technical Data on Fuel", Sottish Academic Press, 1977
17. E.M. Goodger, "Hydrocarbon Fuels", McMillan Press, 1975
18. H. Tennekes and J.C. Lunney, "A First Course in Turbulence", MIT Press, Cambridge, Mass., 1972
19. P.A. Libby and F.A. Williams, "Turbulent Reacting Flames", Topics in Applied Physics, Vol. 44, Springer-Verlag, 1980

20. P. Bradshaw, "Turbulence", Topics in Applied Physics, Vol. 12, Springer-Verlag, New York, 1976
21. Chemical Rubber Company, "Handbook of Physics and Chemistry", 1988
22. E.R. Eckert and R.M. Drake, "Heat and Mass Transfer", McGraw-Hill, 1989
23. J.H. Jeans, "Kinetic Theory of Gases", Cambridge University Press, 1967
24. G.J. Van Wylen and R.E. Sontag, "Fundamentals of Thermodynamics", John Wiley and Jones, New York, 1973
25. D.R. Stull and H. Prophet, "JANAF Thermochemical Tables", 2nd ed., National Bureau of Standards, NSRDS-NBS 37, Washington, 1971
26. H. Schlichting, "Boundary layer Theory", McGraw-Hill Co. 1968
27. D. B. Spalding, "Combustion and Mass Transfer", Pergamon Press, 1979
28. Peters, N. "Lectures on laminar and Turbulent combustion", Ercoftac Summer School, September 1992, Aachen, Germany
29. Ρακόπουλος Κ. και Χουντάλας, Δ. 'Καύση-Ρύπανση Εμβολοφόρων ΜΕΚ', Φούντας, 1988

Συμπόσια και περιοδικά που αναφέρονται στην καύση

International Symposia on Combustion

Combustion and Flame (περιοδικό)

Combustion Science and Technology (περιοδικό)

Progress in Energy and Combustion (περιοδικό)

Combustion Theory and Modelling (περιοδικό)

κ.λ.π

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΧΗΜΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

- 1.1 Στοιχεία θερμοδυναμικής και θερμοχημείας της καύσης
- 1.2 Ισολογισμοί ενέργειας σε διεργασίες με χημικές αντιδράσεις
- 1.3 Η αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας
- 1.4 Περιληπτική περιγραφή καυσίμων
- 1.5 Στοιχειομετρία και σύνθεση καυσαερίων
- 1.6 Υγρά και μίγματα αερίου-ατμών-υγρού
- 1.7 Χημική ισορροπία, ο νόμος δράσης των μαζών και οι σταθερές ισορροπίας
- 1.8 Κλάσματα μάζας των αντιδρώντων (μη προαναμιγμένα αντιδρώντα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ

- 2.1 Εισαγωγή
- 2.2 Νόμοι των χημικών αντιδράσεων
- 2.3 Ο νόμος του Arrhenious
- 2.4 Χημικές αντιδράσεις ενός βήματος και διάφορων τάξεων
- 2.5 Κλιμακωτές αντιδράσεις ή αντιδράσεις πολλαπλών βημάτων (multiple reaction steps)
 - 2.5.1 Προσέγγιση της μόνιμης κατάστασης
 - 2.5.2 Προσέγγιση της μερικής ισορροπίας
 - 2.5.3 Προσέγγιση μέσω συνολικών ή ημισυνολικών αντιδράσεων

- 2.6 Τύποι κλιμακωτών αντιδράσεων
 - 2.6.1 Οι διαδοχικές και ανταγωνιστικές αντιδράσεις
 - 2.6.2 Οι αλυσιδωτές αντιδράσεις
 - 2.6.2.1 Αντιδράσεις ευθείας αλυσίδας (υδρογόνο- αλογόνο)
 - 2.6.2.2 Διακλαδούμενες αντιδράσεις η εκρήξεις
 - 2.6.2.3 Αναχαιτιστές η αναστολείς φλόγας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΠΟΛΥΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΝΤΙΔΡΩΝΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- 3.1 Ο ορισμός των ροών μάζας των διαφόρων συστατικών
- 3.2 Ο νόμος διάχυσης του Fick
- 3.3 Η εξίσωση της συνέχειας
- 3.4 Εξισώσεις Navier-Stokes
 - 3.4.1 Εξισώσεις διατήρησης της ορμής
 - 3.4.2 Εξισώσεις διατήρησης της ενέργειας
- 3.5 Επίλυση ενός πολυσυστατικού συστήματος
- 3.6 Ο μετασχηματισμός SHVAB-ZEL'DOVICH

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΦΛΟΓΕΣ ΠΡΟΜΙΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

- 4.1 Διάκριση φαινομένων καύσης
- 4.2 Ποιοτικές και ποσοτικές διαφορές μεταξύ υποηχητικής και υπερηχητικής καύσης
- 4.3 Η καμπύλη Hugoniot
- 4.4 Ιδιότητες της καμπύλης Hugoniot

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΤΡΩΤΕΣ ΦΛΟΓΕΣ ΠΡΟΜΙΞΗΣ

- 5.1 Φαινομενολογικά χαρακτηριστικά στρωτών φλογών πρόμιξης

- 5.2 Θεωρίες διάδοσης της φλόγας
- 5.3 Επίδραση φυσικών και χημικών μεταβλητών επί της ταχύτητας της στρωτής φλόγας
 - 5.3.1 Επίδραση του λόγου καυσίμου/αέρα (F/A)
 - 5.3.2 Επίδραση της μοριακής δομής του καυσίμου
 - 5.3.3 Επίδραση προσθετικών
 - 5.3.4 Επίδραση της πίεσης
 - 5.3.5 Επίδραση της θερμοκρασίας φλόγας και μίγματος
 - 5.3.6 Εμπειρικοί συσχετισμοί για την S_L
- 5.4 Πειραματικός προσδιορισμός της ταχύτητας της φλόγας
- 5.5 Όρια ευφλεκτότητας και αρχές σταθεροποίησης κυμάτων καύσης σε στρωτή ροή
 - 5.5.1 Όρια ευφλεκτότητας
 - 5.5.2 Αρχές σταθεροποίησης φλόγας σε στρωτή ροή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΚΑΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΣΤΡΩΤΩΝ ΦΛΟΓΩΝ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

- 6.1 Αναλυτική επίλυση στρωτών φλογών διάχυσης μέσω της θεωρίας των Burke-Schumann
- 6.2 Καύση στρωτών φλογών διάχυσης τύπου δέσμης (jet)
 - 6.2.1 Ανάμιξη στρωτού αδρανούς jet
 - 6.2.2 Ανάμιξη στρωτού jet με καύση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΚΑΥΣΗ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΓΟΝΙΔΙΩΝ ΣΕ ΗΜΙΛΙΜΝΑΖΟΥΣΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

- 7.1 Εισαγωγή
- 7.2 Συνθήκες στην επιφάνεια του υγρού για εξάτμιση με ή χωρίς καύση
- 7.3 Εξάτμιση σταγόνας χωρίς καύση
- 7.4 Χρόνος εξάτμισης σταγόνας
- 7.5 Εξάτμιση ακολουθούμενη από καύση

8.1 Θεμελιώδεις Αρχές και Φυσική του Τυρβώδους Πεδίου

8.1.1 Γενικά Χαρακτηριστικά του Τυρβώδους Πεδίου

8.1.2 Εξισώσεις Navier-Stokes, Μέσες Τιμές του πεδίου ροής, Τάσεις Reynolds και οι Εξισώσεις Τα τυρβώδους Μεταφοράς

8.1.2.1 Εξισώσεις Navier-Stokes

8.1.2.2 Οι τάσεις Reynolds, μια προσέγγιση στο πρόβλημα

8.1.2.3 Τάξη μεγέθους των τάσεων Reynolds

8.1.2.4 Οι μαζικά μέσες εξισώσεις διατήρησης και μεταφοράς

8.1.3 Η υπόθεση Boussinesq

8.1.4 Διαστατική ανάλυση, κλίμακες χώρου και χρόνου

8.2 Τυρβώδεις φλόγες

8.2.1 Τυρβώδεις φλόγες πρόμιξης

8.2.1.1 Επίδραση της τύρβης επί της φλόγας

8.2.1.2 Θεωρίες για την ταχύτητα της τυρβώδους φλόγας πρόμιξης

8.2.2 Τυρβώδεις φλόγες διάχυσης

8.2.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά της τυρβώδους φλόγας διάχυσης

8.2.2.2 Η θεώρηση της τυρβώδους φλόγας δέσμης

8.3 Σταθεροποίηση των τυρβωδών φλογών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	Μονάδες και παράγοντες μετατροπής στο σύστημα SI
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	Βασικές σχέσεις μη αντιδρώντων μιγμάτων και παραγωγοί θερμοδυναμικής
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3	Στοιχεία υπολογισμού σταθερών θερμοχημείας
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4	Σύνθεση καυσαερίων σε χημική ισορροπία
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5	Δείγμα πίνακα θερμοδυναμικών δεδομένων για ιδανικά αέρια
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6	Ονοματολογία υδρογονανθράκων
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7	Πίνακες ιδιοτήτων μεταφοράς (μ , C_p , k κλπ)
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8	Τεχνικά δεδομένα καύσης